

MODIFICACION ARTIFICIAL DE LAS PRECIPITACIONES

La precipitación atmosférica es uno de los recursos naturales más importantes para multitud de aplicaciones fundamentales. El papel esencial que desempeña el agua en relación con la vida y las actividades humanas, tanto en aspectos fisiológicos como de producción de alimentos y de energía, es bien conocido. El ritmo de incremento de la población indica hasta qué punto se va haciendo acuciante la necesidad no sólo de aprovechar prudentemente los recursos actuales, sino incluso de intentar aumentarlos y mitigar los efectos adversos asociados a su gran variabilidad en extensas zonas de la Tierra en que dicho recurso es escaso.

Los procesos físicos que intervienen en la formación de las precipitaciones naturales son enormemente complicados y, muchos de ellos, muy incompletamente conocidos. Para que se formen nubes en la atmósfera capaces de dar lugar a precipitación debe concurrir un conjunto de circunstancias favorables que propicien un movimiento ascendente de extensas masas de aire, adecuado a su contenido de vapor de agua, de tal modo que el enfriamiento, asociado al ascenso, sea suficiente para que se produzca la condensación del mismo en forma de pequeñas gotitas, cuyos tamaños son muy pequeños; los radios de las gotitas esféricas nubosas son, aproximadamente, de una centésima de milímetro. Para que los elementos nubosos puedan llegar al suelo en forma de precipitación deben tener un tamaño de, aproximadamente, un milímetro. Debido a que el volumen de una esfera, y, por tanto, su masa, es proporcional al cubo del radio, es preciso que dichos elementos aumenten su masa en un factor del orden de un millón para conseguir precipitar. Este crecimiento tan grande debe estar favorecido por las condiciones generales de ascenso en la masa nubosa, pero los procesos que intervienen en el mismo son de naturaleza diferente, tienen una escala espacial mucho más reducida y deben cursar con rapidez suficiente, debido a que la vida media de las porciones nubosas adecuadas para el crecimiento de la precipitación es del orden de varias decenas de minutos.

Se tiene, por tanto, que para que se forme un sistema nuboso es necesario que se den unas condiciones en escalas adecuadas al tamaño de dicho sistema que consigan el ascenso de una masa de aire. Estas condiciones son de tipo dinámico y térmico; convergencia de masas de aire en niveles bajos de la atmósfera, existencia de perturbaciones frontales, es decir, de masas de aire contiguas con características térmicas bien diferenciadas y con un movimiento relativo de una con respecto a otra, inestabilidad de estratificación, asociada a la distribución vertical de temperatura y humedad, etc. La modificación artificial de estas condiciones de gran escala, necesarias para la formación nubosa, es hoy día impensable, pues implicaría la inversión de enormes cantidades de energía de una forma muy específica, para lo cual no existe una tecnología ni unos conocimientos adecuados.

Una vez que concurren condiciones termodinámicas adecuadas para conseguir movimientos ascendentes en una masa de aire, comienzan a actuar los procesos de la formación en detalle de cada gotita nubosa y de su posterior crecimiento; como su ámbito de actuación es mucho más reducido que el de los procesos termodinámicos, de tal modo que en la incorporación del vapor disponible para condensación a consecuencia del ascenso, las escalas son de tamaño molecular, reciben el nombre de microfísicas. Estas deben ser suficientemente eficaces para conseguir el crecimiento importante de los elementos nubosos necesario para su precipitación en el tiempo disponible, comparativamente corto, correspondiente a la vida media de éstas. Los procesos microfísicos son también

muy complicados. Principalmente son de tipo difusivo en la fase inicial del crecimiento y cuando las gotitas alcanzan tamaños de, aproximadamente, dos centésimas de milímetro de radio pasan a desempeñar un papel protagonista en el crecimiento mecanismos de colisión entre las gotas, que determinan un crecimiento comparativamente rápido de las mismas hasta tamaños de precipitación, de tal modo que el crecimiento difusivo es extraordinariamente lento a partir de los tamaños para el que comienzan a ser eficaces los procesos de colisión.

Se sabe con certeza que en determinadas condiciones, como es el caso de las nubes que se forman en masas de aire continentales, la concentración de gotitas en el seno de las nubes es tan grande que existe una elevada competencia entre ellas hacia el vapor disponible que condensa en el ascenso, lo que puede impedir su crecimiento hasta tamaños adecuados para el crecimiento por colisiones, lo cual implica una gran estabilidad de las nubes correspondientes con la consiguiente dificultad para dar lugar a precipitaciones.

Sin embargo, también es bien sabido que las nubes continentales pueden dar lugar a precipitaciones. ¿Cómo se pueden generar éstas a pesar de la dificultad citada? Cuando en las nubes aparecen elementos de hielo, el crecimiento difusivo de éstos es notablemente más rápido que el de las gotitas líquidas, lo que permite que se alcancen por difusión tamaños adecuados para que se inicien los procesos de colisión en un tiempo sensiblemente más reducido que en el caso en que toda la nube se encuentre en estado líquido. Se tiene, pues, que la aparición del hielo en las nubes continentales debe aumentar sensiblemente su eficacia de precipitación, por lo que cabría esperar que cuando la temperatura de la cima de las nubes es inferior a 0°C y tienen un espesor suficiente deberían producir precipitaciones eficientemente. La afirmación anterior tropieza con la dificultad que existe para que se produzca la aparición de elementos de hielo en las nubes; éstos no se forman en seguida que la temperatura es inferior a 0°C , sino que puede retrasarse hasta temperaturas próximas a -40°C . La aparición de elementos de hielo en el seno de las nubes depende de la existencia de núcleos microscópicos adecuados para favorecerla. Dichos núcleos se encuentran habitualmente suspendidos en el aire y pueden tener una naturaleza muy variada; su concentración es muy variable, y su eficacia para actuar en la formación del hielo depende de su naturaleza, de tal modo que van resultando activas más partículas para la formación de elementos nubosos sólidos a medida que disminuye la temperatura. Se tiene que, en general, hasta que la temperatura de la cima de la nube no es tan baja como -20°C no se consigue una concentración de elementos de hielo en la nube adecuada para que todo el vapor disponible, debido al ascenso del aire, puede ser procesado eficazmente en forma de precipitación que alcance el suelo.

Por consiguiente, cabe imaginar razonablemente que en condiciones continentales, que son las más frecuentemente asociadas a escasez de precipitación, puede darse el caso de que numerosos sistemas nubosos den lugar a lluvias de cuantía sensiblemente inferior a la que podría ocurrir si hubiese aparecido en su seno una concentración de cristales de hielo suficientemente elevada y ello determinado por el hecho de que la temperatura de su cima no es suficientemente baja. Este es el caso relativamente frecuente en extensas zonas de las latitudes medias que son deficitarias de agua.

Si existiese un procedimiento que permitiera adelantar la aparición de cristales de hielo en las nubes, cabría esperar que la precipitación resultante de éstas aumentaría.

Pues bien, existen tales procedimientos que en definitiva consisten en introducir artificialmente en la nube núcleos activos para anticipar la formación del hielo, o sustancias que consigan enfriamientos locales intensos. La sustancia

más utilizada en relación con las primeras es el yoduro de plata, que consigue la formación del hielo en las nubes para una temperatura de, aproximadamente, -5°C , y en relación con los segundos se utiliza nieve carbónica, anhídrido carbónico sólido, cuya temperatura de cambio de estado es de -78°C .

El planteamiento que se ha realizado corresponde a un tipo particular de modificación de la precipitación, la denominada lluvia fría, en la cual la fase hielo desempeña un papel esencial. Es el caso mejor conocido y con respecto al cual se han realizado algunos proyectos con resultados positivos suficientemente comprobados; por otra parte es el que resultaría adecuado para intentar conseguir un incremento de la precipitación en áreas deficitarias de nuestra Península. Por las citadas razones nos hemos restringido a su consideración exclusivamente.

Una vez que se justifica seriamente la posibilidad de conseguir un aumento beneficioso de la precipitación natural a partir de una intervención artificial; el siguiente paso consistirá en llevar las ideas a la práctica y comprobar si realmente se consigue el efecto deseado. Este paso de comprobación de resultados es a su vez extraordinariamente complicado. Para comprenderlo basta tener en cuenta que los conocimientos actuales de Meteorología no permiten realizar predicciones cuantitativas suficientemente aproximadas y fiables acerca de la cantidad de precipitación que puede originar un sistema nuboso en condiciones naturales; por tanto, difícilmente se podrá estimar el efecto asociado a la modificación artificial. A esto se añade la gran variabilidad asociada a la precipitación natural. Por ello, es necesario acudir a métodos estadísticos sofisticados de evaluación que precisen de un gran número de casos para que los resultados tengan un nivel de significación aceptable.

El Instituto Nacional de Meteorología se ha interesado activamente en el tema de la modificación artificial de la precipitación, de tal modo que ofreció la cuenca del Duero como zona con características ideales para la realización del Proyecto de Intensificación de las Precipitaciones, PIP, patrocinado por la Organización Meteorológica Mundial, y cuyo objetivo inicial consistía en determinar si en dicha zona cabía esperar, a partir de medidas detalladas de la estructura nubosa, que se pudiese obtener un incremento de la precipitación natural que fuese demostrable en un plazo de aproximadamente cinco años. Los resultados obtenidos en la fase inicial, realizada entre 1979 y 1981, no fueron concluyentes, en el sentido de que se obtuvo la frecuencia de las situaciones favorables para conseguir un incremento de la precipitación no era suficiente como para detectar estadísticamente el cambio asociado a la modificación en un plazo tan corto como cinco años, y ello debido principalmente a que se comprobó que en la mayoría de los casos en que las precipitaciones eran abundantes y afectaban a toda la cuenca, éstas ocurrían con una eficacia natural elevada, porque las temperaturas de las cimas nubosas eran lo suficientemente bajas como para que existiese una concentración natural de elementos de hielo adecuada. Por ello se abandonó el proyecto, sin que se hiciesen intentos de modificación de precipitación en la zona, de acuerdo con el planteamiento del mismo.

La opinión actual generalizada entre los científicos que trabajan en modificación de la precipitación es de que hay que abandonar el optimismo inicial, siendo necesario profundizar más en el estudio de los procesos de física de nubes y en las medidas de la estructura de los sistemas nubosos antes de poder asesorar con mayor fiabilidad acerca de las posibilidades de conseguir un incremento de la precipitación natural. Se está realizando un esfuerzo importante en este sentido, pero por el momento lo más sensato, lo recomendable, es esperar a que se consiga un avance suficiente antes de emprender nuevos proyectos operacionales.

Parece oportuno hacer un comentario acerca de la preocupación que recientemente se ha suscitado en algunas regiones del sureste de la Península, en el sentido de que algunos sectores de población son de la opinión de que por parte de algunas compañías, con intereses comerciales concretos, se está procediendo al tratamiento de los sistemas nubosos capaces de producir lluvia con el fin de disiparles, y de tal modo que las pretendidas acciones constituyen un factor importante de la sequía que aqueja pertinazmente a aquellas regiones. Del contexto de la presentación que se ha realizado al comienzo, se desprende que actualmente resulta impensable modificar las condiciones dinámicas que proporcionan la condición necesaria y son la parte principal para la producción de la lluvia; asimismo, la modificación de las condiciones microfísicas en circunstancias dinámicas favorables con el objetivo de disminuir la precipitación exigiría la introducción de enormes cantidades de núcleos en el seno de las nubes y la inversión de ingentes cantidades de energía para favorecer la evaporación por mezcla turbulenta de los elementos nubosos, para lo cual sería necesario un fabuloso despliegue de medios técnicos que no podría pasar inadvertido, con una inversión económica muy superior a la de los beneficios que se pensase obtener, y ello para obtener unos resultados sumamente inciertos, debido a que éste es un dominio que por falta de soporte razonable no está desarrollado en absoluto. Las observaciones constatadas por gente del campo avezada de la zona, que indican que en ocasiones sistemas nubosos «amenazadores» para producir la deseada lluvia terminan disipándose sin originarla, deben considerarse como válidas. Seguramente dicho tipo de evolución indeseable obedece a una modificación en las condiciones dinámicas impuesta por la orografía próxima que en determinadas situaciones, para determinadas direcciones del viento en los niveles bajos de la atmósfera, puede inducir la aparición de corrientes descendentes en el seno de las nubes que originan su desaparición o disminuyen la cantidad de precipitación inicialmente esperada a partir de estimaciones visuales. Esta es la explicación lógica de los bajos niveles de precipitación para algunas regiones concretas. Parece que sería interesante desarrollar un estudio detallado en este sentido para la zona mencionada.

José Ramón de Grado Sanz

Meteorólogo